

La dynamique des cultures irriguées et de décrue sous l'effet de la variabilité climatique dans la vallée inférieure du fleuve Logone

Auteurs : Antoinette DENENODJI¹, Pr Bernard GONNE², Dr Agnès BEGUE³, Dr Baohoutou Laohote⁴, Dr Ouya Bondoro¹, Djimassal Datoloum¹, Joseph Libar¹

1- Centre National de Recherche pour le Développement – Tchad

2- Université de Maroua-Cameroun

3- CIRAD-UMR TETIS Montpellier-France.

4- Université de N'Djamena – Tchad ;

Résumé

A travers cette étude, les images Landsat ont permis de mettre en évidence la dynamique des cultures irriguées et de décrue dans la vallée inférieure du Fleuve Logone. Ces résultats ont été justifiés par les données pluviométriques, hydrologiques, statistiques agricoles et vérifiés par les enquêtes socioéconomiques.

Mots clés : Variabilité climatique, Landsat, dynamique, télédétection-SIG, culture irriguée-décrue.

Abstract

Through this study, the Landsat images made it possible to highlight the dynamics of irrigated and recession crops in the lower valley of the Logone River. These results were justified by rainfall, hydrological data, agricultural statistics and verified by socio-economic surveys.

Key words: Climatic variability, Landsat, dynamics, remote sensing-GIS, irrigated-decay crops.

I - Contexte et problématique

La vallée inférieure du Logone est une zone soudano-sahélienne soumise à de fortes contraintes édapho-climatiques. Ayant un équilibre fragile, ses écosystèmes des terroirs se sont lentement constitués au cours des siècles. La baisse de la quantité des ressources naturelles et l'érosion de la diversité biologique sont fortement dues à la croissance démographique et à l'activité économique liée aux systèmes de production traditionnels. Cette forte dégradation de l'écosystème a favorisé l'épuisement des sols et la variabilité pluviométrique. Ce qui est à la base du déficit céréalier et de l'insécurité alimentaire dans la vallée. Les effets potentiels de la variabilité climatique sur la productivité agricole suscitent de nombreuses préoccupations et amènent les agriculteurs à développer des stratégies et des techniques de production agricole mieux résilientes aux aléas du climat. De ce fait, l'évolution structurelle de l'offre agricole (changement d'orientation de production, évolution de la taille des exploitations, travail partiel, introduction de nouvelles variétés de cultures, diffusion des innovations techniques, etc.) a vu le jour.

Il existe une interaction mutuelle entre le climat et l'agriculture, qui recouvre des dimensions complexes sur une grande étendue d'échelles de temps et d'espace. C'est dans ce cadre effectivement que s'inscrit notre étude dans la vallée inférieure du Logone dont le thème est la dynamique des cultures irriguées et de décrue sous l'effet de la variabilité climatique.

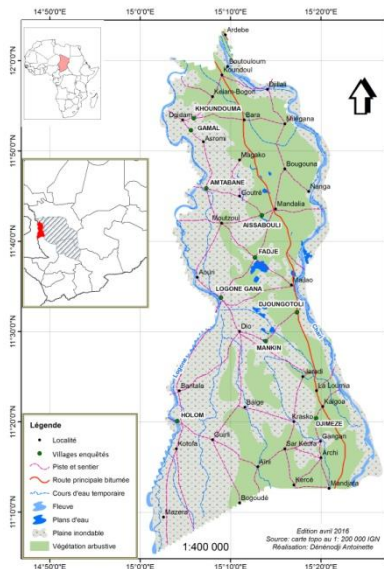
II- Les objectifs de recherche

Pour mener à bien cette étude, nous nous sommes fixés des objectifs suivants dont le principal est de cartographier les espaces des cultures de décrue et irriguée en perpétuel évolution. Et de façon spécifique montrer la dynamique des cultures de décrue et irriguée à l'aide des images Landsat (1985, 2000 et 2015) d'une part et identifier les différents types de cultures par les enquêtes socioéconomiques d'autre part, enfin analyser les données agricoles (DSA) et pluviométriques (DGMN/DEAM (ex DREM)).

III- Présentation de la vallée inférieure du Logone

La vallée inférieure du fleuve Logone (*Cf. carte N°1*) s'étend entre 11° et 12° de latitude Nord, et 15,03° et 15,43° de longitude sud. Elle a une superficie de partie du domaine

soudano-sahélien bénéficiant des précipitations comprises entre 400 et 600 mm. Elle abrite comme végétation des steppes arbustives et/ou arborées à épineux ainsi qu'un tapis diversifié d'espèces herbeuses annuelles dominées par les graminées.



Carte N°1 : La zone d'étude

Source : Carte topographique IGN au 1 : 200 000

La vallée offre ainsi un écosystème présentant un aspect très favorable à l'agriculture, à l'élevage et à la pêche attirant ainsi de nombreux migrants venus de divers horizons. Dans ce bassin, la pratique et l'adaptation des activités rurales reposent essentiellement sur un calendrier imposé par le rythme saisonnier des crues et décrues du Logone et des précipitations.

III - Méthodologie

III.1 - Les données

Les différentes données utilisées dans notre étude sont : des images satellite Landsat, des données pluviométriques [Division de la Climatologie/Direction Générale de la Météorologie Nationale (DGMN)/ Direction d'Exploitation et d'Application Météorologique (DEAM) et Base de données CRU TS (of the University of East Anglia)], agricoles (Direction de la

Statistique Agricole), de terrain (points GPS de différentes occupations du sol) et socio-économiques (questionnaire).

III.2 - Les méthodes

III.2.1 – Téléchargement, prétraitement et traitement des images Landsat

Les images Landsat sont distribuées gratuitement et sans licence d'utilisation par leur propriétaire l'USGS. Elles sont fournies au niveau L1T, qui correspond à des données orthorectifiées exprimées en réflectances au sommet de l'atmosphère. Elles ont une résolution spatiale de 30 m et sont téléchargeables sur le site <http://Glovis.usgs.gov> ou bien <http://earthexplorer.usgs.gov>.

Trois images LANDSAT orthorectifiées ont été acquises sur la zone d'étude en 1985, 2000 et 2015.

Les images Landsat téléchargées ont été reprojctées en UTM WGS 84 (zone 33 Nord) et une amélioration du contraste a été effectuée à l'aide de la fonction 'Histogram Equalization' de Erdas Imagine sur la composition colorée des bandes 5-4-3 affichées respectivement en rouge, vert et bleu (Girard *et al.*, 1999)].

Dans le cas de notre étude diachronique de l'occupation du sol, cette combinaison spectrale a permis d'identifier et de séparer visuellement les surfaces en eau des autres systèmes d'occupation du sol, ainsi qu'une bonne discrimination visible entre les végétaux (savane arbustive, jachère, prairies marécageuses et forêts galeries), les zones inondables, les surfaces cultivées et les sols nus.

III.2.2 – L'analyse spatiale des images Landsat

L'analyse statistique des images a pour but l'extraction d'information caractéristique qu'elles contiennent. En effet, les images Landsat de 1985, 2000 et 2015 ont été segmentées et classées par la fonction 'Segmentation Meanshift' de la Boîte à outils Orfeo sous QGIS. La technique de la segmentation ou de la classification non supervisée a été utilisée dans le but d'avoir une vue d'ensemble sur la géographie des unités d'occupation du sol.

La segmentation nous a permis d'avoir plusieurs segments représentant les différentes classes d'unités d'occupation du sol. Les segments obtenus sont superposés sur l'image afin de les réunir par classe. Ainsi nous avons rassemblé les différentes classes ou structures semblables par photo-interprétation visuelle et à l'aide de nos connaissances de l'expertise sur le terrain et aussi des coordonnées des points GPS de ces différentes unités relevées sur le terrain. Ainsi les classes sont regroupées en neuf classes auxquelles nous avons labellisé. Ces classes sont savane arbustive, jachère, prairies marécageuses ou savanes herbeuses, forêts galeries, les zones inondables, les surfaces cultivées (pluviales et décrues), les cours d'eau et les sols nus.

Mais après les traitements d'analyse au laboratoire, une vérification terrain s'est avérée nécessaire pour corroborer la pertinence de l'analyse d'images et la valider.

III.2.3 – La vérité-terrain

La vérité-terrain est un complément indispensable à l'analyse des images et des photos aériennes. Aucune autre source d'information ne peut la remplacer, elle seule nous renseigne sur l'exactitude de nos interprétations, sur les raisons et la mise en place des évolutions analysées ainsi que sur l'extension du phénomène (Catherine Bodart, 2004). C'est dans ce sens que pour notre étude, une équipe de 2 chercheurs a sillonné la zone d'étude afin de décrire et caractériser l'état de sites préalablement localisés, représentatifs des différentes unités de l'occupation des sols identifiées. Les relevés cartographiques de terrain ont été faits lors de la même mission que celle de la collecte de données socio-économiques, profitant du véhicule pendant que les enquêteurs faisaient leur travail dans les villages. Munis d'une image Landsat 2013 imprimée au 1/200.000, de la carte topographique IGN de 1958 (feuille de Mogrom) de la zone d'étude, d'un véhicule 4x4, d'un appareil photo et d'un GPS, les deux géomaticiens accompagnés de chef sous-secteur de Mandélie sont partis pour observer les différentes réalités de terrain et photographier des systèmes de cultures des agriculteurs rencontrés dans les parcelles.

Le but était de faire des observations de terrain pour déterminer les indicateurs biophysiques du paysage ciblé sur l'image Landsat 8 de décembre 2013 et qui nous semblaient difficiles à interpréter. Les coordonnées de ces objets/surfaces incertaines avaient été préalablement enregistrées sous forme de waypoints dans le GPS ; ces waypoints sont démarrés ou lancés dans le GPS qui donne automatiquement la distance et le chemin pour les atteindre.... Une

fois atteints, ces points étaient décrits et photographiés. Lors des déplacements entre deux waypoints, des relevés de points de parcelles (cultures pluviales, cultures de décrue et culture de contre saison), de forêts galeries, de savanes arbustives, les rivières, etc... ont été enregistrées dans le GPS et décrits. Nous avons pu enregistrer 306 points d'unités d'occupations du sol dont 150 sont utilisés pour la validation des limites de différentes classes d'occupation des sols par la confrontation des résultats cartographiques à la réalité du terrain.

III.2.4 – Les autres données

III.2.4.1 – Les données des enquêtes socio-économiques

La réalisation des enquêtes socioéconomiques est faite à partir d'un échantillonnage sur une base de données des villages composée de 229 villages (la feuille topographique IGN au 1/200.000, Mogrom de 1958 de la zone d'étude) de quelques centaines d'habitants. Les villages enquêtés, ont été choisis par un échantillonnage aléatoire simple et 10 villages (Koundouma, Gamal, Amtabane, Aïssabouli, Fadjé, Logone Gana, Djoungotoli, Mankin, Holom et Djimeze. Cf. *carte n°1*) ont été choisis. Dans chacun de ces 10 villages sélectionnés, une vingtaine de personnes seront interrogées à l'aide d'un questionnaire comportait 14 volets des questions (Accès terre, Occupation du sol, Rythme activités, Durée jachère, Superficie cultivée, Durée exploitation, Types cultures, Techniques culturelles, Outil labour, Equipement Hydroagricole, Spéculations cultivées, Intrants agricoles, Rendement, Activités) avec une seule réponse (modalité) par question, mais une réponse pour chaque période de 5 ans depuis 1985. Ainsi les enquêtées devaient répondre à 70 questions. Une fois les enquêtes terminées, la procédure du dépouillement des fiches est amorcée. La base de données de personnes enquêtées est de 108.

Les données des enquêtes socio-économiques collectées auprès des producteurs dans la vallée inférieure du Logone et traitées sous Excel sont utilisées pour cette étude.

III.2.4.2 – Les données pluviométriques, hydrologiques et agricoles

3. *Les données pluviométriques, hydrologiques et agricoles sont recueillies respectivement au niveau de la Division de la Climatologie/Direction Générale de la Météorologie Nationale*

(DGMN)/ Direction d'Exploitation et d'Application Météorologique (DEAM) et de la Direction de la Statistique Agricole (DSA) ont été analysées sous Excel.

IV – Résultats

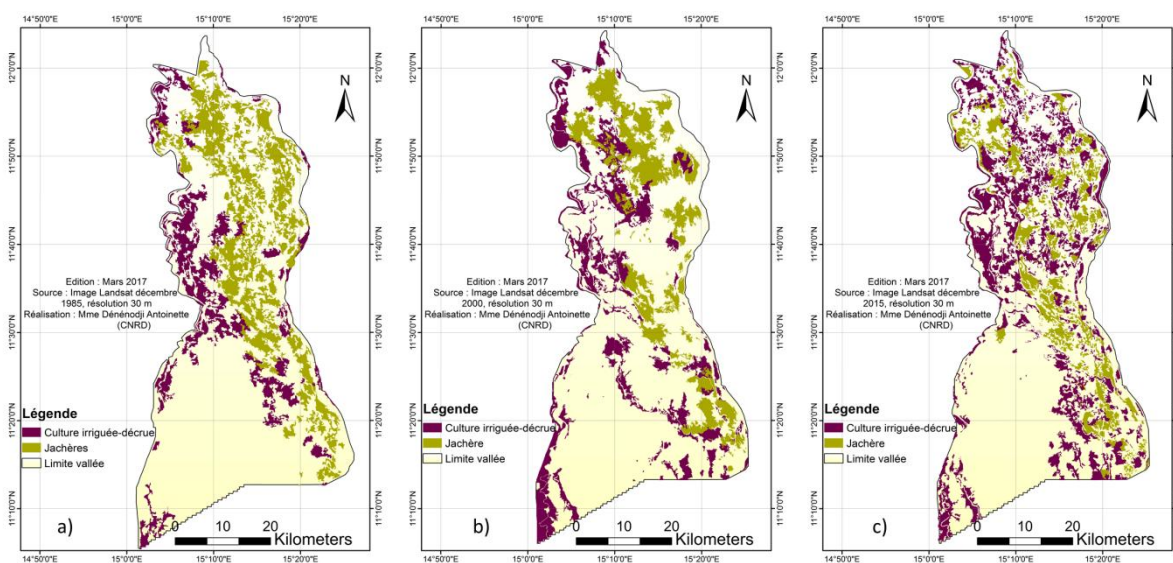
IV.1 - Dynamique des cultures de décrue et irriguée

L'analyse qualitative de la dynamique des cultures passe par la présentation des cartes d'occupation des sols de 1985, 2000 et 2015. Les modifications spatio-temporelles qui ont lieu au cours de ces trente années s'observent clairement. Ces modifications s'apprécient quantitativement par les superficies des cultures.

IV.1.1 - L'évolution des espaces cultureux de décrue et irrigués

Les cartes d'évolutions des surfaces culturelles de décrue et irriguées sont obtenues par l'analyse de la dynamique spatio-temporelle des cultures. Ce qui permet de voir l'évolution des espaces occupés par les cultures de décrue et irriguées durant ces trois décennies (Cf. Carte n°2).

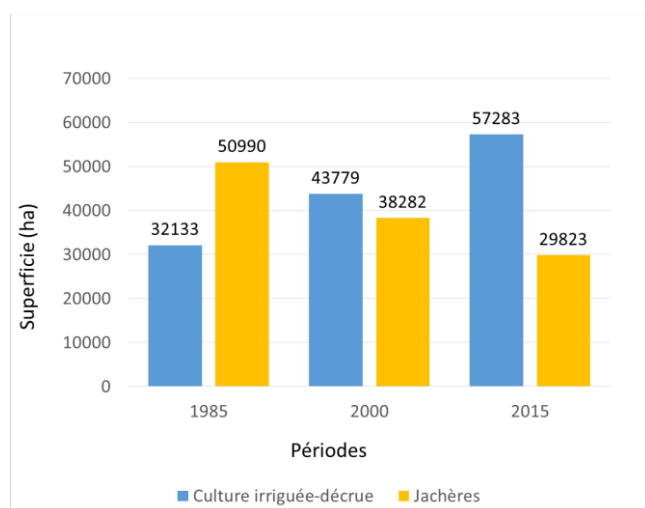
Carte n°2. Cartes des cultures de décrue et irriguées sur les dates 1985 (a), 2000 (b) et 2015 (c).



Source : Images Landsat, décembre 1985, 2000 et 2015, résolution 30 m

Les données statistiques des superficies de ces espaces sont calculées sous QGIS et exportées sous Excel pour la réalisation du graphique n°1. Sur le graphique n°1, nous observons une forte évolution des surfaces des cultures irriguées et de décrue (57283 ha) en 2015 par rapport en 1985 avec 32133 ha et des jachères (50990 ha) en 1985 par rapport à l'année 2015 avec 29823 ha. Cf. Graphique n°1.

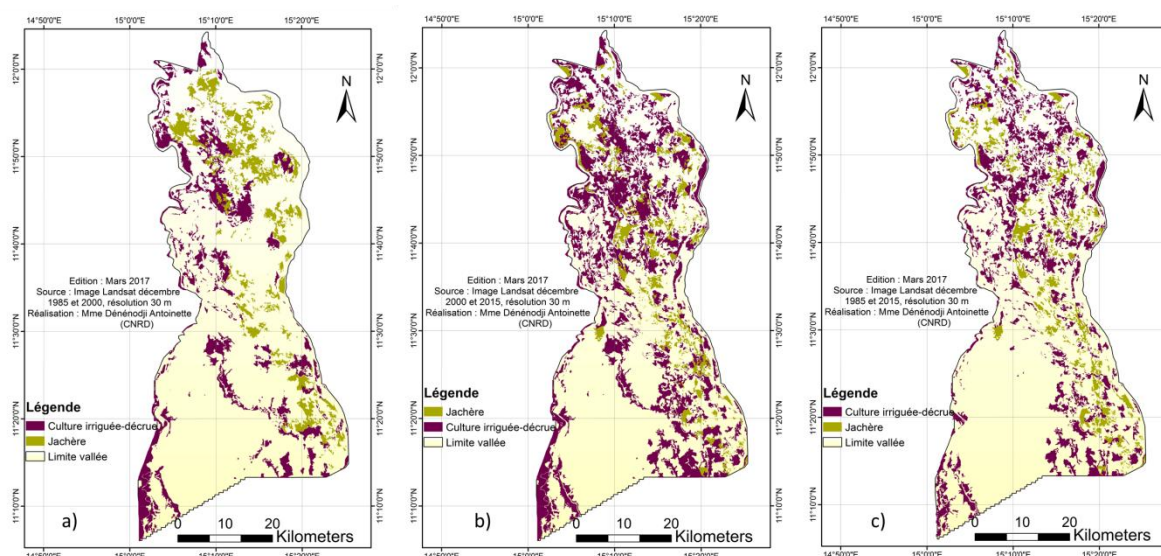
L'analyse de ce graphique n°1 et de la carte n°2, nous pouvons dire que les jachères sont de plus en plus réduites avec la forte demande de l'alimentation par la population ces dernières décennies.



Graphique n°1. L'évolution des espaces cultureux de décrue et irriguées 1985, 2000 et 2015.

Source : Images Landsat, décembre 1985, 2000 et 2015, résolution 30 m

Les cartes d'évolutions des surfaces culturelles de décrue et irriguées sont obtenues par la différence des cultures de décrue et irriguées des deux cartes thématiques différentes avec la fonction Différence sous QGIS afin d'obtenir une seule carte. Par exemple les cartes de 1985 et 2000 ont subi l'opération 'Différence' pour donner une carte de 1985-2000. Ce qui permet de voir l'évolution des espaces occupés par les cultures de décrue et irriguées durant ces trois décennies (Cf. Carte n°3).



Carte n°3. Cartes des cultures de décrue et irriguées sur les périodes 1985-2000 (a), 2000-2015 (b) et 1985-2015 (c)

Source : Images Landsat, décembre 1985, 2000 et 2015, résolution 30 m

L'observation de la carte n°3 montre une forte évolution des cultures irriguées et de décrue (25150 ha) et une évolution décroissante des jachères (-21167 ha) durant la période de 1985 à 2015 (Cf. Graphique n°1). C'est justement pendant cette période que la variabilité pluviométrique (retard et ou arrêt précoce des pluies) est très accentuée et le paysan n'arrivait plus à maîtriser le calendrier cultural pluvial et s'était beaucoup plus tourné vers les cultures irriguées et de décrue. Raison pour laquelle les légumes (feuilles et fruits), les cucurbitacées et même les oignons se trouvent partout dans les coins des rues de nos jours.

IV.1.2 - L'évolution des espaces cultureux au profit des autres unités d'occupation des sol

Pour mettre en exergue cette évolution culturelle, une analyse spatiale par croisement des cartes thématiques a été réalisée sous QGIS. Le fait notable est la disparition de la savane arborée entre 1985 et 2000 au profit des cultures et des sols nus ou dégradés.

C'est le croisement deux à deux de ces cartes fait apparaître l'évolution des cultures et donc la dynamique spatiale des cultures au cours de la période choisie. Ces cartes comparées visuellement entre elles, mettent l'accent sur l'évolution des surfaces agricoles cultivées de la

zone d'étude. Pour mieux appréhender l'évolution de ces surfaces, un croisement entre les cartes de 1985 et 2000, de 2000 et 2015 et de 1985 et 2015 a été réalisé sous QGIS.

La carte obtenue par croisement de deux cartes thématiques est l'intersection de chacune des deux cartes initiales dont les classes montrent les états initial et final du milieu considéré et permettent d'en caractériser l'évolution. Il faut noter que le changement s'est opéré dans toutes les unités.

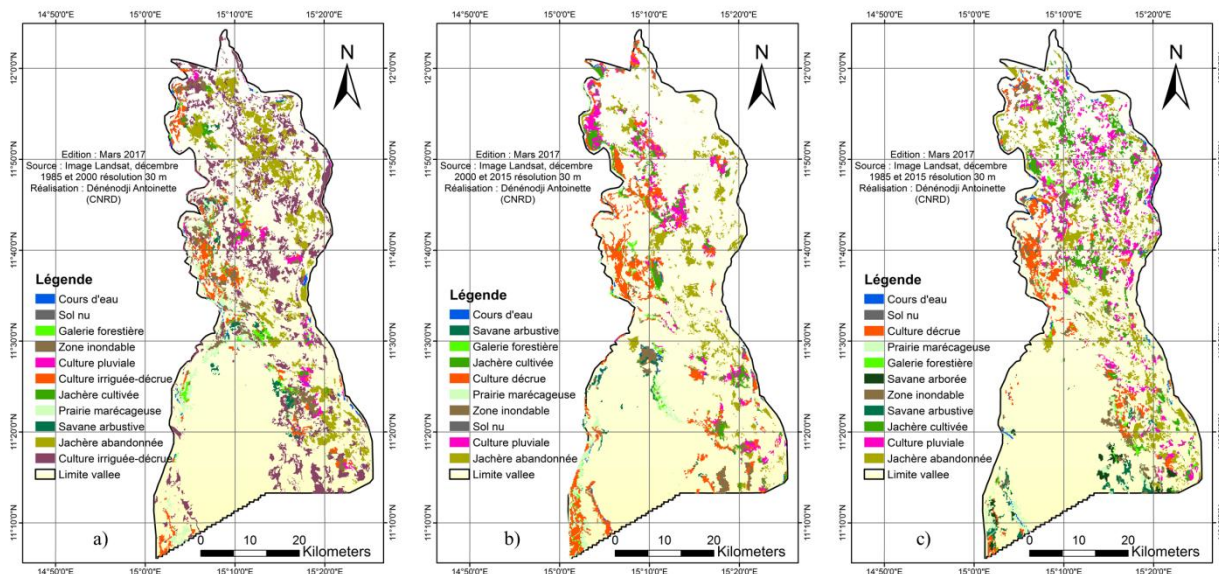
Certaines ont augmenté, d'autres au contraire ont diminué. Mais nous avons mis en évidence dans cette analyse les changements dont l'ampleur est significative. Ce sont les espaces cultivables qui ont beaucoup évolué sur les cartes. Cette discrimination est due au fait que nous voulons montrer dans cette étude l'évolution des cultures irriguées et de décrue dans cette zone.

Prenons par un exemple l'intersection de deux couches d'occupation des sols qui a donné une autre couche d'occupation des sols appelée « OcSol_Inters ». Dans cette dernière, un élément résultant de l'intersection d'une entité appartenant à la classe « savane arborée » en 1985 et d'une entité appartenant à la classe « culture pluviale ou de décrue » en 2000 indique la déforestation du milieu entre 1985 et 2000 à des fins culturales. Nous affecterons ainsi une nouvelle classe à l'élément résulté c'est-à-dire « milieu naturel transformé en terre agricole » (MADJIGOTO et al. 2015).

Ainsi trois nouvelles cartes de l'évolution de la zone d'étude entre 1985-2000, 2000-2015 et 1985-2015 (*Cf. Carte n°4*) montrant nettement la dégradation des autres entités au profit des superficies cultivables.

IV.1.2.1- L'évolution des espaces cultureux de décrue et irriguées entre 1985-2000, 2000-2015 et 1985-2015

L'évolution des espaces cultivés a toujours des impacts sur l'environnement. Ainsi sur les cartes, les transformations de différents milieux naturels en terres cultivables sont visibles (*Cf. Carte n°4*). La dégradation est très accentuée au cours de ces trois dernières décennies (1985-2015) au profit des cultures irriguées et de décrue.



Carte n°4 : Carte des différentes occupations du sol qui ont été converties en culture pendant la période considérée : a) 1985-2000 ; b) 2000-2015 ; c) 1985-2015

Source : Images Landsat, décembre 1985, 2000 et 2015, résolution 30 m

Le constat fait sur la carte n°4 est qu'il y ait une forte évolution des espaces cultureux de décrue et irriguées entre 2000 et 2015. Les cultures irriguées et de décrue entre 1985 et 2015 ont pris les espaces des cultures pluviales, des jachères, des zones inondables et savane arborée. De 1985 à 2000, nous constatons que les milieux naturels ont été plus dégradés au profit des cultures irriguées et de décrue surtout les prairies marécageuses, zones inondables, savane arbustive, forêt galerie, les cours d'eau.

IV.2 - Evolution de la pluviosité entre 1983 – 2014

L'indice de pluviosité (I_p) est le rapport de la hauteur de précipitation annuelle à la hauteur moyenne annuelle de précipitation (Lamb, 1982) et dont la formule est la suivante :

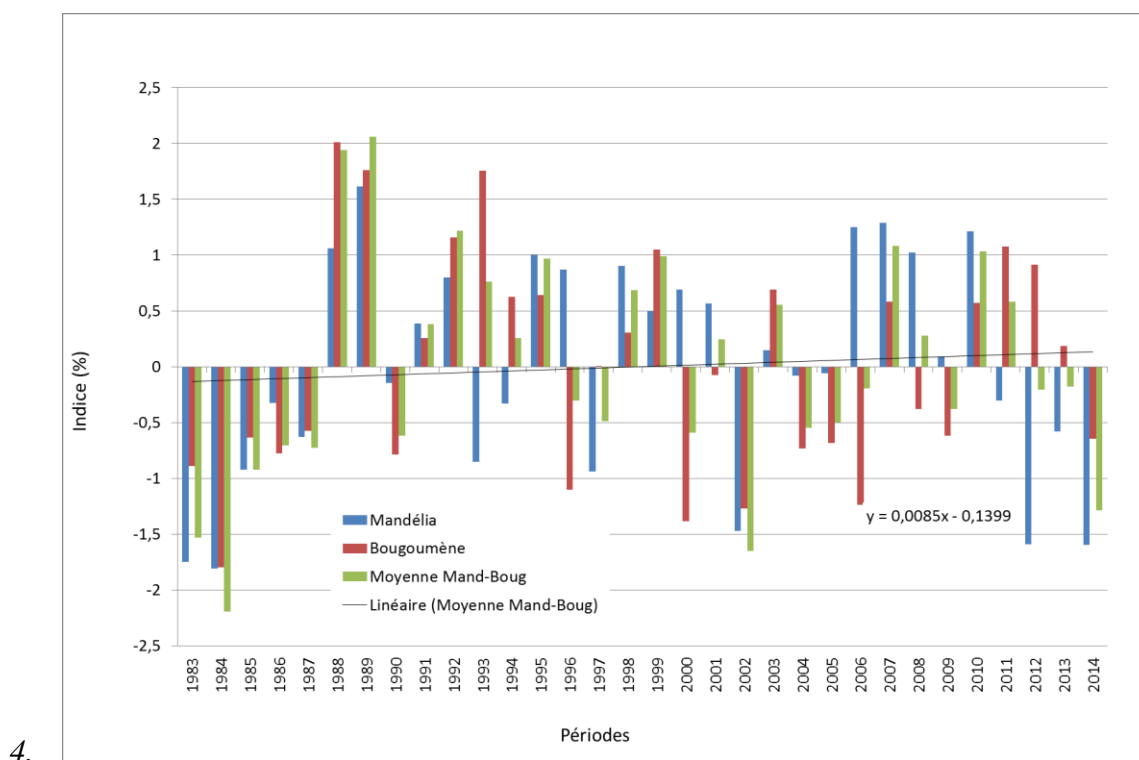
$$I_p = (P_i - \text{Moyenne } (P_1 : P_n)) / \text{Em (II)}$$

Pour ce faire l'objectif est de fixer un seuil de la pluviosité entre -2 et 2 permettant d'expliquer les décennies les plus humides, moins humides et sèches dans cette vallée, ainsi -2 est très sec et le seuil 2 est très humide.

On observe sur les deux stations pluviométrique de Mandélia et Bougoumène, une pluie déficitaire pendant la période 1983-1987 montrant que la zone était très sèche. Entre 1988 et

1989 les pluies sont excédentaires dans les deux stations. Entre 1991 et 2010 une forte variabilité de la pluviosité avec dominance des années excédentaires dans les deux stations. De 2010 à 2014, une pluviosité légèrement élevée au niveau de la station de Bougoumène ; quant à la station de Mandelia c'est plutôt un déficit pluviométrique qui s'observe. En somme une prépondérance des fronts déficitaires dont les plus sévères pendant les trente années, sont observés en 1984, 2002 et 2014 au niveau des deux stations (*Cf. Graphique n°2*).

Globalement, sur l'ensemble de la vallée, s'observe un déficit pluviométrique de 1983 à 1987 marquant une période très sèche. De 1988 à 1989 c'est une période relativement humide avec des pluies excédentaires. Après, les pluies deviennent très aléatoires avec des périodes humides et sèches de 1990 à 2014.



Graphique n°2 : Evolution de la pluviosité entre 1983 – 2014

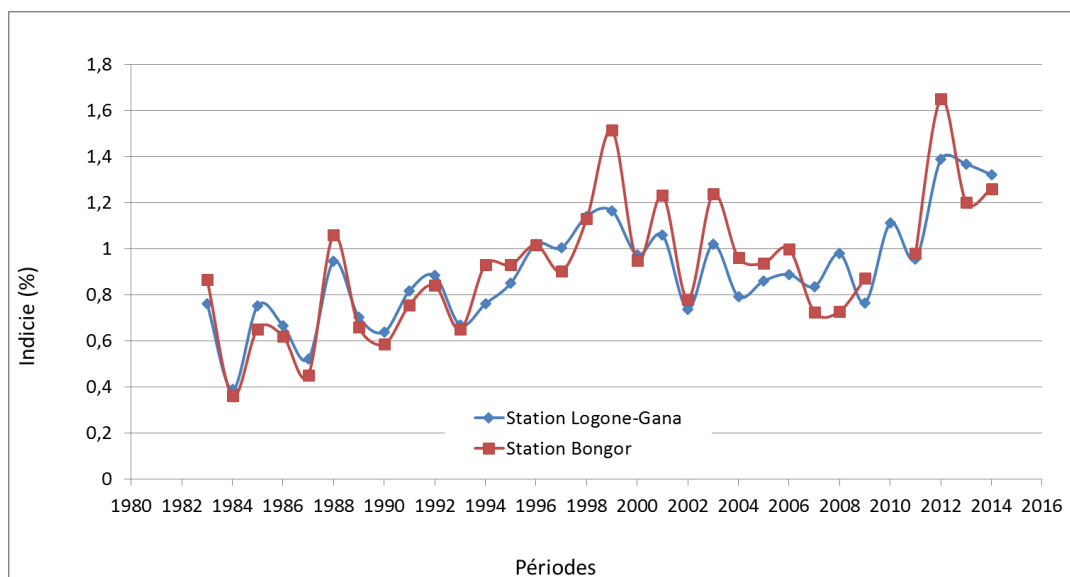
Source : DGMN/DEAM

IV.3 - Evolution interannuelle de l'hydraullicité de 1983-2014 dans la vallée du Logone

Les données hydrologiques ont permis d'analyser la variabilité spatio-temporelle des indices hydrologiques interannuels au cours des différentes décennies à partir des données collectées à la DGMN/DEAM (ex DREM) au Tchad.

L'hydraulicité est ici le rapport du débit moyen annuel (module) de l'année considérée et le débit moyen pris sur toute la chronologie disponible. Cette mesure permet de comparer simplement le débit du cours d'eau à une année "normale".

L'évolution spatio-temporelle de l'hydraulicité permet d'estimer la quantité des eaux de crue et de décrue afin d'évaluer les superficies favorables à la culture de décrue.



Graphique n°3 : Evolution interannuelle de l'hydraulicité

Source : DGMN/DEAM

L'analyse de la variabilité de l'hydraulicité avec des données recueillies au niveau de deux stations synoptiques de Logone-Gana et Bongor permet de comprendre que l'évolution de l'hydraulicité suit celle de la pluviosité.

Cette évolution est marquée par l'alternance des périodes des crues et des décrues entre 1983 et 2014.

A cet effet un seuil fixé à 1 montre qu'au-delà les crues sont excédentaires et en deçà elles sont déficitaires.

Ainsi de 1980 jusqu'à 1999 les crues sont largement déficitaires niveau des deux stations ; suivie d'une période de crues excédentaires de 2000 à 2004 ; de crues encore déficitaires de 2005 jusqu'à 2010 et enfin une période de crue excédentaires.

Les années 1999 et 2012 ont connu des crues particulièrement excédentaires et les années 1984 et 1987 des crues déficitaires à Bongor (Cf. Graphique n°3).

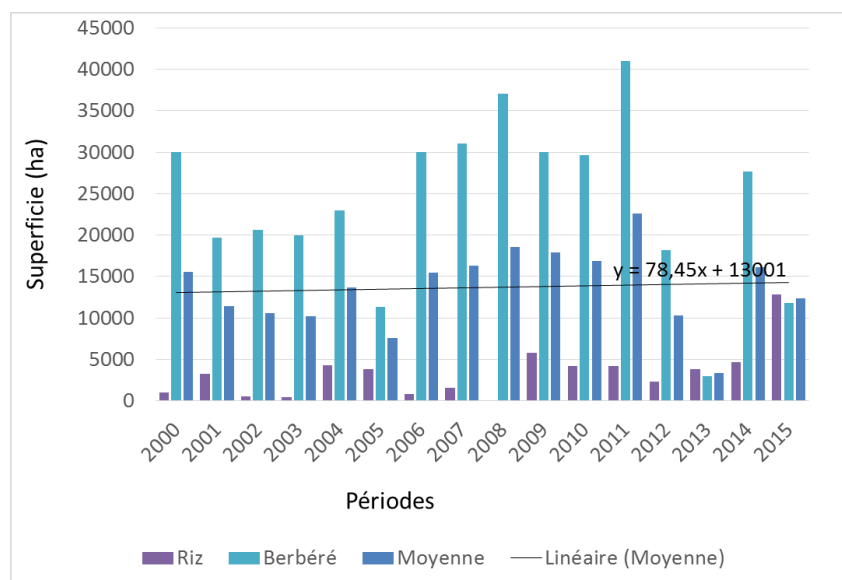
IV.4 - Evolution des cultures céréalières

Nous n'avons trouvé à la Direction de la Statistique Agricole que les données des agricultures de 2000 à 2015 de la zone d'étude car celles des années antérieures manquent. L'analyse de ces données vient corroborer les résultats sur l'évolution des cultures issus respectivement des données des occupations des sols par Landsat.

IV.4.1 - Evolution de superficie des céréales

Sur la période 1984-2014, on observe une évolution en dents de scie des surfaces céréalières (Cf. Graphique n°4). Une analyse plus détaillée nous indique que la culture de sorgho (berbéré) a vu ses surfaces passer de 30000 ha à 40000 ha, soit 30% de plus de 2000 à 2011, suivie d'une chute brutale en 2012 à 2013, puis d'une remontée en 2014.

Cette évolution est confirmée par les surfaces cultivées estimées à partir des images satellitaires Landsat.



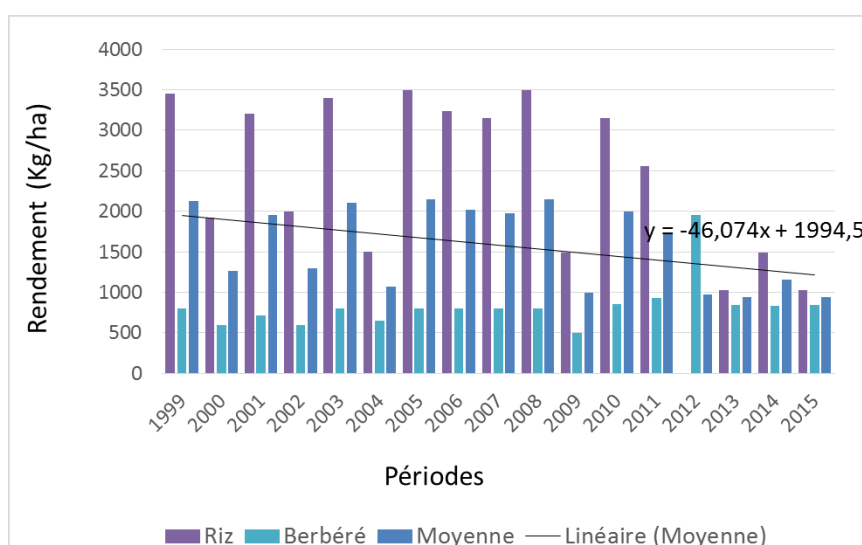
Graphique n°4 : Evolution de superficie céréalière de 2000 à 2015

Source : Données DSA

IV.4.2 - Evolution du rendement des céréales

Le graphique n°5 montre une évolution en dents de scie des rendements de riz de 2000 à 2015. Pour le sorgho berbéré l'évolution des rendements se fait également en dents de scie mais pas très marquée. Globalement le rendement de riz est plus élevé que celui du sorgho. En 2012, année de forte inondation le rendement du riz est nul car les champs de riz sont ennoyés. Ce qui a fait beaucoup de nombreux sinistrés.

Dans l'ensemble, nous pouvons dire que bien qu'il y ait augmentation des surfaces et stagnation des rendements entre 2000 et 2011, puis ensuite, chute des surfaces et des rendements, la tendance de l'évolution du rendement est décroissante (Cf. Graphique n°5).



Graphique n°5 : Evolution du rendement céréalier de 2000 à 2015

Source : Données de la DSA

IV.5 - L'évolution de différents types des cultures dans la vallée

L'analyse des données des enquêtes socio-économiques nous donne une situation sur l'évolution de différents types de culture dans la vallée. Ce qui vient appuyer les données de la télédétection utilisées dans cette étude.

Le graphique n°6 présente l'évolution de quatre types de cultures de 1985 à nos jours. Le pourcentage d'agriculteurs avec des « cultures vivrières » majoritaires (sorgho pluvial, mil, légumineuses tels que niébé et soja, riz et taro principalement) décroît régulièrement, passant de 53% en 1985-1990 à 8% en 2010-2015. Il en est de même pour les cultures commerciales

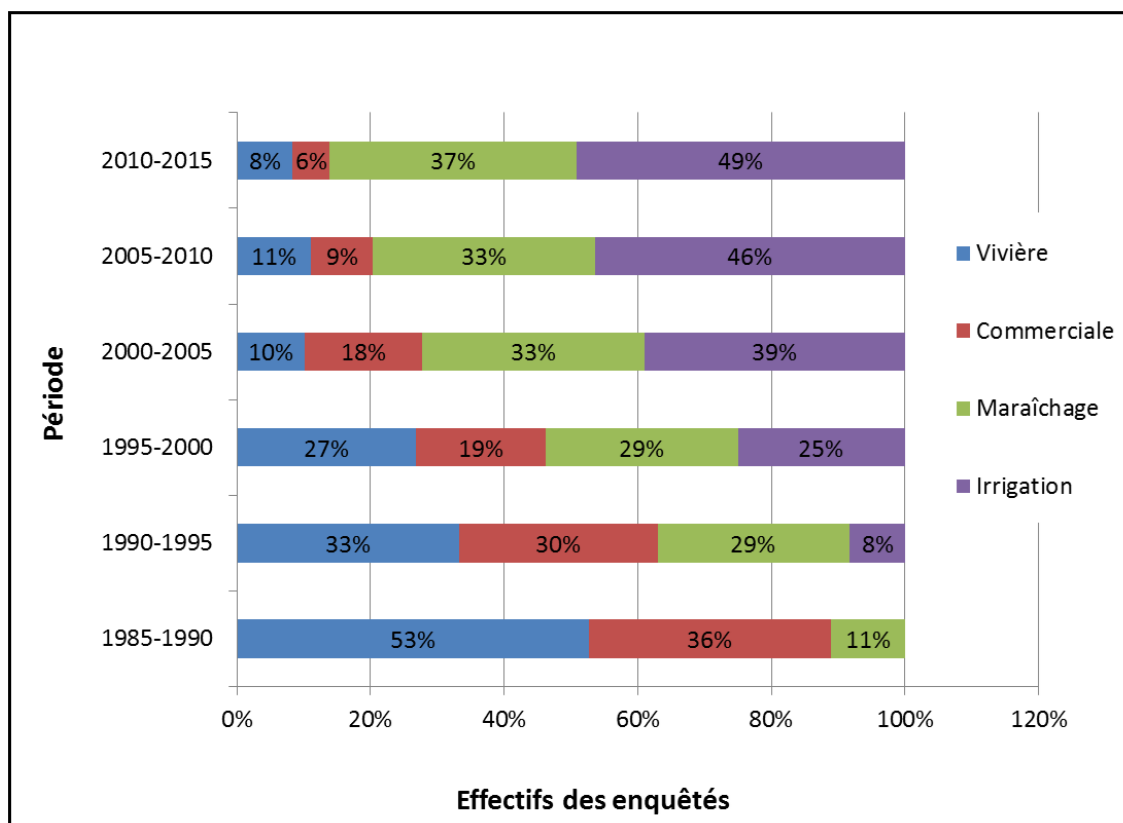
(sésame, oseille rouge, oseille blanc, arachide, patate, gombo, concombre, poids de terre, etc.) qui passent sur la même période de 36% à 6% des agriculteurs (Cf. *Graphique n°6*). A contrario, les types de cultures maraîchères et irriguées montrent un nombre croissant des pratiquants. Ainsi, le nombre des maraîchers (laitue, tomate, gombo, piment, choux, oignon, pastèque, manioc, ...) (Cf. *Planche n°1*) croît de 11% à 37% entre les périodes 1985-1990 à 2010-2015 ; celui des pratiquants des cultures irriguées passe de 8% à 49% entre les périodes 1990-1995 à 2010-2015.

Planche n° 1. Les différentes cultures photographiées



Source : Photos A. Dénéodji et D. Djim-Assal (CNRD)

La disparition des cultures vivrières et commerciales peut s'expliquer par les effets de la variabilité climatique sur ces cultures pluviales qui ne produisent que de très faible rendement. Ce qui décourage le plus souvent les agriculteurs, et ces derniers ont tendance à se tourner beaucoup plus vers les cultures irriguées (sorgho berbéré, le riz, les concombres locaux, le gombo et la pastèque) sont cultivés partout en fin de saison des pluies dans les zones de dépression et pendant la décrue au bord du fleuve durant les deux dernières décennies.



Graphique n°6 : Evolution des types de cultures

Source : Données enquêtes 2015, Dénénodji Antoinette

IV.6 - Identification du potentiel de surface agricole dans la vallée

Les valeurs moyennes des pixels de fréquence des surfaces inondées de 2001-2014 à partir des images MODIS (Cf. Carte n°5). Ces valeurs, correspondant aux variations à la teneur en eau sur les différents types des sols, ont permis les calculs des superficies. Les valeurs de pixel en teneur en eau de la carte de fréquence sont multipliées deux fois par la résolution (500 m x 500 m) sont converties en hectare. Ainsi pour la valeur de pixel 30, nous obtenons 750 ha, 38 donne 950 ha, 50 conduit à 1250 ha, 65 pour 1625 ha et enfin 75 pour 1875 ha.

Ces superficies permettent de proposer aux agriculteurs la pratique de certaines cultures

La superficie cultivable calculée (750 ha) correspond aux surfaces inondées très superficiellement (Cf. Carte n°5). Elles contiennent les sols sablo-limoneux et s'évaporent rapidement. Les cultures pluviales précoces (le sorgho pluvial, le mil, les légumineuses

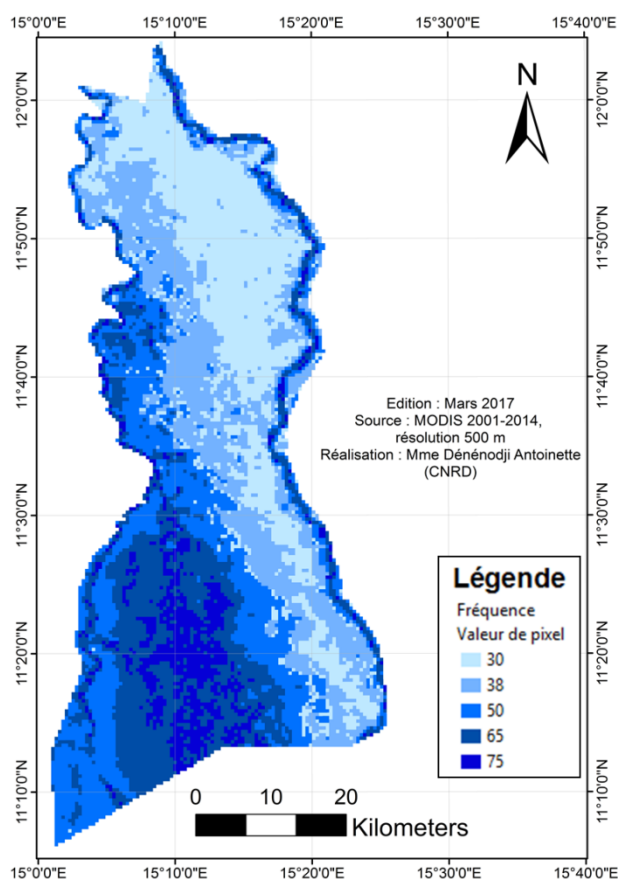
(niébés, soja et arachides), les oléagineuses (sésames), les malvacées (gombo, oseille de Guinée), les patates douces et les cucurbitacées) y sont conseillées.

Les surfaces inondées peu superficielles correspondent à 950 ha (*Cf. Carte n°5*), et avec la présence des sols sablo-limoneux et surtout limono-argileux qui retiennent les eaux pendant un temps. Les cultures conseillées sont le sorgho pluvial, le riz pluvial le sorgho de décrue, les légumineuses, oléagineuses, patates douces et cucurbitacées.

La surface inondée calculée (1250 ha) sur un sol argilo-limoneux maintient l'humidité pendant un certain temps permettant la pratique des cultures de décrue (sorgho berbéré, riz de décrue, le manioc, le maïs, les malvacées et les cucurbitacées (*Cf. Carte n°5*).

Sur sol argilo-limoneux et argileux, la superficie cultivable calculée est de 1625 ha (*Cf. Carte n°4*) peut conserver l'eau durant la moitié de l'année. et les cultures potentielles (le riz, le taro,...) qui peuvent s'y pratiquer dépendront de la pluviométrie défavorable ou de l'exploitation intense de ses eaux pour l'irrigation.

La surface inondable cultivable calculée (1875 ha) est une plaine inondable et dépendante entièrement des eaux du bassin versant et garde l'eau toute l'année (*Cf. Carte n°4*). Elle est le niveau mineur du bassin versant du fleuve Logone mais elle peut être potentiellement cultivable.



Carte n°4 : La fréquence des surfaces inondées dans le bassin

Source : Données images NDWI MODIS 2001-2014, résolution 500 m.

V – Conclusion

Les variabilités climatiques ajoutées à la croissance démographique ont vraiment impacté les autres unités de l'occupation des sols au profit des cultures. Les différents changements observés dans l'évolution des unités d'occupation des sols montrent une tendance beaucoup plus à la dégradation des ressources naturelles. Les superficies des cultures irriguées et de décrue cartographiées par les images Landsat ont connu une évolution prépondérante au cours de ces trois dernières décennies. Cette évolution a été prouvée par les données de la statistique agricole de la zone d'étude et validée par les données de l'enquête socioéconomique. Cependant, malgré l'augmentation des superficies de 1985 à 2015, le rendement reste toujours très faible et l'insécurité alimentaire continue de battre son plein. Ce faible rendement peut

être dû à la dégradation du sol, au manque d'emploi des fertilisants et des produits phytosanitaires (qui ne sont pas à la portée de toute la population), à la non utilisation de certaines techniques culturales (il y a un technicien agricole pour au moins 50 villages). Or il y a encore beaucoup de terres à potentialité agricole dont la teneur en eau est restée inexploitable (Cf. Carte n°4) dans la vallée inférieure du Logone. Ce qui nous amène à faire une étude prospective sur la zone.

V.1 – La prospective de l'utilisation des terres

V.1.1 – Etude prospective de la consommation annuelle de céréales

Pour faire cette étude prospective, nous avons emprunté les données de la FAO (bulletin, décembre 2016).

La consommation annuelle de céréales par personne (y compris aliments pour animaux) a atteint son maximum au milieu des années 1980, à 334 kg, et a chuté depuis à 317 kg selon FAO en 2016.

Bien que la demande mondiale de produits agricoles ait continué d'augmenter, la progression a été moins rapide ces dernières décennies. Entre 1969 et 1989, la demande a cru à un taux moyen de 2,4 pour cent par an, mais celui-ci est tombé à 2 pour cent (FAO, 2016) seulement au cours de la décennie suivante. Dans les pays en développement, la baisse sera plus spectaculaire : le taux de croissance qui a été de 3,7 pour cent ces 30 dernières années va passer à 2 pour cent en moyenne dans les 30 prochaines années.

V.1.1.1 – La consommation annuelle de céréales de la population totale de la vallée en 2009

Connaissant les données sur le taux de la croissance annuelle de la demande mondiale de céréale (2% (b) par an), la consommation annuelle de céréale (317 kg par personne) et enfin le nombre de la population totale (n) de la vallée en 2009 (191 945) ; nous pouvons calculer la consommation annuelle de céréale de la population totale (C_0).

$$C_0 = n_p \times C_a$$

C_0 : consommation annuelle de céréale de la population totale

n_p : nombre de la population totale de la vallée

C_a : consommation annuelle de céréale par personne

Alors $C_0 = 191\,945 \times 317 = 60\,847$ tonnes

Ainsi $C_0 = 60\,847$ tonnes

V.1.1.2 – La projection de la consommation annuelle de céréale de la même population en 2020

La projection de la consommation annuelle de céréale de cette même population C_n en 2020 où n la différence du nombre d'années 2020 et 2009, avec $n=11$ (2020-2009) connaissant C_0 et $b=2\%$ (taux de la croissance annuelle de la demande mondiale de céréale)

$$C_n = C_0 (1+b)^n \cdot C_{11} = 75\,656 \text{ tonnes}$$

En 2020, cette même population aura besoin d'une consommation annuelle de céréale de 75 656 tonnes.

Ensuite en nous basant sur les données des rendements spécifiques de quatorze variétés de céréales (riz, sorgho et mil) et des arachides adaptables aux conditions agro-écologiques du Tchad de la Direction de la Statistique Agricole (DSA) en général et dans notre zone d'étude en particulier pour estimer les rendements suivants les superficies cartographiées (Cf. tableau n°1).

La production totale de toutes les variétés de céréales (14) cultivées en décrue et en pluviale (DSA) sur les superficies cartographiées dans la vallée a été calculée (929756 tonnes), connaissant la consommation annuelle de céréale 317 kg par personne (FAO, 2016).

La consommation annuelle de céréale (C_a) dans la zone d'étude serait :

$$C_a = 929756 / 0,317 = 2.932.983 \text{ tonnes}$$

Cette consommation C_a serait de 2.932.983 tonnes permettant de nourrir non seulement la population locale sur place, mais aussi les autres régions du Tchad, voire l'exporter.

Les superficies des zones inondées calculées sous QGIS et exportées dans Excel permettent de calculer la production des céréales (Cf. Tableau n°1) aussi bien pluviales que de décrue à l'aide des données des rendements spécifiques de différentes variétés de céréales (riz, sorgho

et mil) et des arachides adaptables aux conditions agro-écologiques du Tchad de la Direction de la Statistique Agricole (DSA).

V.1.1.3 – Surface cultivable (S_c) par variété cultivée en 2009

Prenons l'exemple d'une superficie cartographiée calculée (750 hectares) avec 14 variétés de cultures céréalières (dans la base de données de la DSA) cultivées dans la vallée. Faisons la somme totale de la production des 14 variétés de céréale cultivées, soit 105705 tonnes, ensuite quatorze de surfaces estimées cultivées sont égales à 750 hectares x 14=10500 ha.

.

Connaissant la consommation de la population de 2009 qui est de C_o (60 847 tonnes), nous pouvons calculer la superficie cultivable (S_c) en 2009 à l'aide 14 surfaces cultivées ainsi que leur production céréalière dans :

$$S_c = C_o \times S_{14sc} / P_{14vc\text{céréales}} = 6044 \text{ hectares c'est - à - dire}$$

Surface cultivable (S_c) par variété cultivée (v_c) serait :

$$S_c/v_c = 431 \text{ ha (Cf. Tableau n°1)}$$

Ainsi la surface cultivée par variété en 2009 était de 431 ha.

V.1.1.4 - Surface cultivable (S_c) par variété cultivée en 2020

Connaissant la consommation annuelle de céréale de la population de la vallée pour l'année qui est de 75.656 tonnes, nous pouvons calculer la superficie cultivable (S_{c20}) en 2020 :

$$S_{c20} = 7515 \text{ hectares (Cf. Tableau n°1)}$$

La surface cultivable dans la vallée serait de 7515 hectares en l'an 2020, ce qui fait une surface par variété de 537 ha (Cf. Tableau n°1).

Tableau n°1 : tableau récapitulatif des surfaces cultivables, des productions et celles cultivées par variété

Sup Carte (ha)	14 superficies cultivées (14s _c)(ha)	Production 14 variétés céréales P _{14vc} (tonnes)	Superficie cultivable 2009 (S _c) (ha)	Superficie cultivable 2020(S _c) (ha)	Superficie cultivable par variété en 2009 (ha)	Superficie cultivable par variété en 2020 (ha)
750	10500	105705	6044	7515	432	537
950	13300	366526	2208	2745	158	196
1250	17500	146042	7291	9066	521	648
1625	22750	311483	4444	5526	317	395

Source : Données issues des images MOD09A1 2001-2014, résolution 500 m et DSA

VI - References bibliographies

Catherine BODART, André OZER & Dominique DERAUW, «Suivi de l'activité des dunes au Niger au moyen de la cohérence interférométrique ERS 1/2», *BSGLg* [En ligne], 54 (2010/1) - Hommage au Professeur André Ozer, URL : <http://popups.ulg.ac.be/0770-7576/index.php?id=1012>.

Girard M C., Girard C M., 1999, « La télédétection appliquée, zones tropicales et intertropicales », Dunod, Ed. Paris, 529 pages plus CD Rom.

Lamb, P. J. (1982) Persistence of Subsaharan drought. *Nature* 299 (September), 46-47

Madjigoto R., Ouya B., Libar J., Djim-Assal D., Kemsol A., Dénéodji A. ; 2015. Dégénération des massifs forestiers du Logone oriental : enjeux et perspectives : quelles stratégies pour une conservation durable. N°005 ISSN1859-5103 de Juillet 2015 de la Territoires, Sociétés et Environnement des Presses Universitaires de Zinder.